

POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Ondřej Čavoj

Simulace podmínek ve výpočtech aerodynamiky vozidel

Condition Simulation in Vehicle Aerodynamics Computation

K oponování byla předložena disertační práce Ing. Ondřeje Čavoje o rozsahu devadesát stran rozčleněných do šesti kapitol, včetně seznamu použité literatury a seznamu vlastních publikací. Práce se zabývá výpočtovou simulací proudění vzduchu okolo vozu se zvláštním zaměřením na oblast kol vozu, vliv jejich rotace včetně změny vlastního tvaru, úrovně detailu provedení pneumatiky a vliv nenulového úhlu náběhu na aerodynamický odpor.

Aktuálnost disertační práce

V úvodu autor shrnuje současný stav poznání s používanými přístupy simulace rotace disků kol, tj. stacionární okrajová podmínka rychlosti v samostatné zóně (MRF) a předpis tečné rychlosti na povrchu (tangential velocity) a nestacionární rotace geometrie (sliding mesh). Též zmiňuje simulace rotace pneumatiky pomocí metody tečné rychlosti. Jednotlivé metody jsou srovnány svojí náročností i přesností dosahovaných v předpovědích odporového koeficientu, průtoku chladícího vzduchu a rozložení vztlaaku mezi nápravami.

Další část práce rozebírá vliv úrovně detailu pneumatiky v simulaci v porovnání s měřením v aerodynamickém tunelu při variantách měření mock-up a s motorovým prostorem, změnu odporového koeficientu vozů různých provedení karoserie v závislosti na úhlu náběhu a vliv změny tvaru a objemu pneumatiky během její rotace spolu s jeho alespoň částečným experimentálním ověřením.

Výše zmíněná témata, zejména týkající se simulace rotace kol, jsou s ohledem na šíři a úroveň detailů dokladování aerodynamických parametrů vozů dle předpisu WLTP v praxi aktuálně zkoumána a získané poznatky nasazovány do produktového vývoje vozů.

Splnění stanoveného cíle

Autor si předsevzal následující cíle, jejichž dosažení následně dokladoval pomocí dojezdových zkoušek a měřeními v aerodynamickém tunelu.

- analýza vlivu různých metod simulace rotace kol na integrální silové účinky
 - analýza provedena pro metodiky tečné rychlosti, MRF a sliding edge pro různé designy disků kol
- vliv úrovně detailu pneumatiky a vliv radiální expanze pneumatiky na integrální silové účinky
 - zkoumán vliv rozdílu mezi běžně používaným hladkým provedením vůči skenu zachycujícímu vzorek pneumatiky včetně s tím související tvarové změny v místě styku pneumatiky s vozovkou
 - provedena výpočetní analýza vlivu změny tvaru pneumatiky expanzí během rotace
- analýza vlivu úhlu náběhu na integrální silové účinky
 - analýza provedena na základě vlastních simulací a experimentálních měření a dílem s použitím dat z publikovaných zdrojů

Výše zmíněné cíle považuji na základě korektně provedených virtuálních simulací, které byly, kde to bylo možné, porovnávány s metodicky důsledným experimentálním měřením provedeným ve standardním aerodynamickém tunelu nebo dojezdovou zkouškou, za splněné.

Postup řešení problému a výsledky disertační práce s uvedením konkrétního přínosu doktoranda

Autor svá řešení založil na principu křížového srovnání virtuálních simulací a experimentálních měření. Velká snaha byla věnována vzájemné podobnosti simulovaných a měřených dat. K měřením i simulacím bylo využito shodného vozidla a shodných sad kol. Z práce je patrna snaha o co možná nejširší křížovou kontrolu výsledků. Dle uvedených popisů a dokumentace je práce autora opakovatelná.

Jako základ pro simulace posloužila pro produktový vývoj používaný výpočetní metodika fy. Škoda Auto, včetně přípravy dat, sítí a post-processingu. Pro analýzu vlivu rotace pneumatiky autor použil model turbulence k-omega

Ing. Zdeněk Sloupenský, Ph.D.
Sadová 98
Sovínky 294 29

SST namísto standardního realizable k-epsilon two-layer. Za účelem zkoumání vlivu detailu provedení pneumatiky, respektive expanze kol, autor přistoupil ke změně geometrie tzv. morfováním a úpravě standardního provedení výpočetní sítě.

Měření dojezdovou zkouškou bylo provedeno dle běžného předpisu. Pro získání hodnot potřebných k vyhodnocení změny polohy karoserie, tvaru pneumatiky vlivem expanze a posunu středu kola, vytvořil autor lankový mechanismus k měření změn polohy zavěšení kol a laserových dálkoměrů ke snímání světlé výšky vozu. Jako aerodynamický tunel byl vybrán FKFS Stuttgart, který je běžně využíván při produktovém vývoji vozů. Prováděná měření se držela požadavků a standardů fy. Škoda Auto na přípravu vozu před měřeními i předepsaných postupů na provedení a vyhodnocení měření.

Analýza zkoumaných jevů byla vždy prováděna metodou krokových změn s jednotící bází pro možnost vzájemného porovnání. V případě složitých a provázaných fenoménů (např. expanze kol a s tím související změna tvaru v místě styku pneumatiky s vozovkou) na toto bylo upozorněno. Autor se v hodnocení nezaměřil pouze na srovnání integrální hodnoty, ale velkou snahu věnoval i analýze pro problematiku klíčových oblastí proudového pole v místě úplavů za koly s použitím řezů proudovým polem vůči hodnotám získaným jeho trasováním sondou při měření.

Otázka:

- V práci uvádíte pozitivní vliv expanze pneumatiky na tvar úplavu za zadí vozu. Vaše měření se však týkalo vozu karoserie sedan. Popište prosím rozdílné chování úplavu za vozy typů sedan a kombi a možné ovlivnění úplavu expanzí kol u druhého z nich.

Význam pro praxi nebo rozvoj v oboru

Předložená práce odpovídá nastolenému trendu průmyslové praxe vývoje aerodynamiky automobilů. S dostupností stále výkonnějšího hardware se přechází od hodnocení integrálních hodnot ke zkoumání fenoménů proudového pole, jejich interpretaci a užšího provázání výpočtových simulací a experimentu. Pro další použití při vývoji simulačních metod hodnotím přínosnými experimentální výsledky získané traverzováním proudového pole. Z pohledu strategie vývoje simulačních metod a nástrojů a strategie rozvoje investic do výpočetních clusterů je hodnotné i vzájemné ocenění stacionárních a nestacionárních metod, jejich náročnosti a vypovídací hodnotě pro predikci odporového koeficientu a ovlivnění vztlaků vozu.

Jedním z problematických uzlů virtuálního vývoje vozu je provedení kontaktní plochy pneumatiky s vozovkou. Autorovi se podařilo kombinací simulací a měření provést další krok v osvětlení chování proudění v této oblasti a snížit tak nejistotu, se kterou se potýká projektový vedoucí při doprovodu vývoje nových designů kol. Zajímavý a pro další zkoumání je užitečný poznatek o vlivu expanze pneumatik na tlakové pole zadní části vozu a zejména možné ovlivnění funkčnosti zde umístěných odtrhových hran.

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Práce je vypracována v českém jazyce, v přehledné grafické úpravě. Vytýkám popis některých grafů a vyobrazení, který je proveden nedostatečně nebo kombinací různých jazyků. Grafy a tabulky jsou v některých případech v textu nevhodně umístěny nebo se zavádějícím popiskem.

Dále mám připomínku k jednotce ventilačního momentu M_v , která je i dle vztahu (4) na stránce 52 v předložené práci $[N \cdot m] = [kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}]$ a nikoliv bezrozměrná, jak uvádí autor v seznamu zkratk a symbolů.

Splnění podmínky uvedené v § 49 odst. 4 zákona

(4) Studium se řádně ukončuje státní doktorskou zkouškou a obhajobou disertační práce, kterými se prokazuje schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu nebo vývoje nebo k samostatné teoretické a tvůrčí umělecké činnosti. Disertační práce musí obsahovat původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění.

Předložená disertační práce obsahuje původní výsledky autora. Ing. Ondřej Čavoj potvrdil svoji odbornou způsobilost ve zkoumané oblasti, dovednost v práci s komplexními simulačními a experimentálními nástroji a metodikami, a též svoji způsobilost aplikovat svá zjištění v praxi.

Ing. Zdeněk Sloupenský, Ph.D.
Sadová 98
Sovínky 294 29

Prokázání tvůrčí schopnosti v dané oblasti výzkumu, a zda práce splňuje nebo nesplňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru

Předložená disertační práce splňuje očekávání kladená na doktorandské studium. Autorem vytčené cíle považuji za splněné a jeho odbornou způsobilost za prokázanou. Disertační práci Ing. Ondřeje Čavoje **doporučuji** k obhajobě.

V Mladé Boleslavi, 30. 7. 2019

Zdeněk Sloupenský